



Notitie 23-1-2017
revisie 20-9-2017

Dossier 8971

Verkenning uitbreiding NPR methode voor dragende wanden

1 Opdracht

In opdracht van de Technische Commissie van de Stichting Stapelbouw is een onderzoek uitgevoerd om na te gaan of het mogelijk is het toepassingsgebied van de methode voor het toetsen van dragende wanden in geschoorde raamwerken, die in NPR 9096-1-1 is beschreven, uit te breiden tot situaties waarbij de vloeroverspanning groter is dan 7,2 meter. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen betonvloeren waarin bij de voorgeschreven belasting scheurvorming optreedt en vloeren waarbij bij de voorgeschreven belasting geen scheurvorming optreedt. Dit laatste kan het geval zijn bij voorgespannen vloeren.

De bevindingen van een eerste verkenning zijn beschreven in notitie 14-6-2016 van dit dossier. De onderhavige notitie is een gecorrigeerde en aangevulde versie van die notitie. De notitie is onder andere aangevuld met een afleiding van de in NPR 9096-1-1 gestelde voorwaarden voor niet-doorgaande vloeren in het geval de overspanning groter is dan 7,2 m. Ook is nagegaan of er sprake is van een redelijke overgang tussen beide beschreven situaties en of de resultaten met een niet-lineaire berekening gereproduceerd kunnen worden.

Leeswijzer bij revisie 20-9-2017:

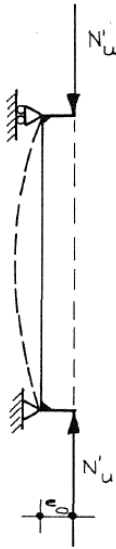
Ten aanzien van de vorige versie is in paragraaf 4.2 een beperkte toevoeging opgenomen. Daarnaast is in hoofdstuk 7 een voorstel voor wijziging van de NPR 9096-1-1 beschreven en is de samenvatting in hoofdstuk 8 beperkt veranderd.

2 Achtergronden van de methode

De beschouwde methode, die op dit moment beschreven is in artikel 6.1.2.3 van NPR 9096-1-1, is voor het eerst beschreven in de NPR 6791 uit 1991. De achtergronden van de methode in de NPR zijn beschreven in Adviesbureau Hageman rapport 1207-1-0, d.d. april 1981. In dat rapport is mede gebruik gemaakt van Heron 3/4 (jaargang 15 – 1967). De methode is vervolgens overgenomen in diverse uitgaven van de NPR. Voor NPR 6791 uit 2009 zijn de verdere achtergronden beschreven in Hageman dossier 6098. Met het uitbrengen van de Eurocodes is de NPR aangepast op NEN-EN 1996-1-1 en vervolgens uitgebracht als NPR 9096-1-1. De methode voor het toetsen van dragende wanden in een geschoorde raamwerk is hierin, enigszins aangepast, weer overgenomen. De achtergronden hierbij zijn beschreven in Hageman dossier 6687.

Bij het opstellen van de methode zijn twee situaties beschouwd. Eén waarbij de eerste orde krachtsverdeling wordt bepaald door een constant over de hoogte aanwezige excentriciteit. Deze situatie is

bepalend voor de capaciteit voor het opnemen van een normaalkracht. In de NPR wordt deze situatie beschouwd voor een eindwand, waarbij de kniklengte gelijk is aan de afstand tussen de aansluitende vloeren, en voor een tussenwand. Bij een tussenwand is de kniklengte op basis van 5.5.1.2 van NEN-EN 1996-1-1 aangehouden als 0,75 maal de afstand tussen de aansluitende vloeren. Deze situatie leidt tot de in de NPR opgenomen tabellen 11 en 12 met daarin voor verschillende wandhoogten en dikten gegeven waarden voor Φ_m die bepalend is voor de opneembare normaalkracht. De grootte van Φ_m is bepaald uitgaande van de minimaal voorgeschreven excentriciteit in het midden van de wandhoogte.



figuur 1 Situatie 1: een constant over de hoogte aanwezige eerste orde excentriciteit

De tweede situatie die wordt beschouwd is die waarbij op de uiteinden van de wand twee gelijke momenten werkzaam zijn, zodat de wand in een S-vormige uitgebogen stand komt te staan, zie figuur 2. De wand is ten gevolge van de kortere kniklengte minder gevoelig voor knik. Echter de grootte van het moment moet wel beperkt blijven. Bij geometrische slankheden van de wand (hoogte/dikte) groter dan 15 is ook hier namelijk sprake van een reductie van de capaciteit ten gevolge van tweede orde effecten.



figuur 2 Situatie 2: twee gelijke kopmomenten en een lineair verlopende excentriciteit

In rapport 1207-1-0 is als ontwerpcriterium het uitgangspunt genomen dat deze situatie kritisch wordt als de rotatiecapaciteit van de wand bij deze uitbuigingsvorm, kleiner is dan de hoekverdraaiing die de op de wand opgelegde vloer bij de rekenwaarde van de voorgeschreven belasting zal ondergaan. In die situatie is de bovenzijde van de wand namelijk in staat om zo ver te roteren dat de verdere aandrijving van de kopmomenten door de rotatie van de vloer komt te vervallen.

De rotatiecapaciteit van de wanden in deze situatie is gebaseerd op de resultaten en grafieken die in het Heron rapport en in rapport 1207-1-0 zijn opgenomen. Hierbij is uitgegaan van een waarde van het maximale kopmoment aan de uiteinde van de vloeren waarbij voor alle normaalkrachten tot het niveau van de normaalkrachtcapaciteit bepaald volgens situatie 1 een evenwichtsstand kan worden bereikt. Dit met uitzondering van de situaties met kleine normaalkrachten. Het niet voldoen is situaties met een kleine normaalkracht wordt acceptabel geacht omdat:

- hierbij tweede orde effecten nagenoeg niet spelen;
- het eventuele bezwijken beperkt blijft tot het afboeren van het metselwerk aan de kop en/of de voet van de wand.

De waarde voor het kopmoment M_{kop} volgt uit:

$$M_{kop} = \beta_{max} b t^2 f_d$$

De op deze wijze gevonden rotatiecapaciteit, beschreven in rapport 1207-1-0 is hierna voor vijf situaties samengevat:

λ	wanddikte	β_{max}	φ_r
30	100 mm	0,05	0,017
25	120 mm	0,055	0,016
20	150 mm	0,06	0,015
15	200 mm	0,08	0,010
12	250 mm	0,07	0,0075

Opgemerkt wordt dat deze rotatiecapaciteiten zijn bepaald voor een lengte van 3 meter. Als de wandhoogte kleiner is, zal de rotatiecapaciteit iets meer beperkt zijn, anderzijds treedt de grootste rotatie op aan het einde van de wanden waar het moment het grootst is. Dat verandert bij een kortere lengte niet echt.

De afleiding van de methode die in de NPR 6703 is gehanteerd, gaat reeds uit van een relatief beperkte hoekverdraaiing van de vloer van gewapend beton. Aangenomen wordt dat de wapening juist niet vloeit. De hoekverdraaiing van de vloer, statisch bepaald op twee steunpunten opgelegd en belast door een gelijkmatig verdeelde belasting, laat zich dan benaderen door:

$$\varphi_v = \frac{2}{3} \kappa_e \frac{l_v}{2} = \frac{1}{3} \kappa_e l_v$$

Uitgaande van wapening met een vloeigrens van 400 N/mm² en een zeer beperkte wapeningsverhouding zodat de drukzone op het moment van vloeien niet groter is dan 0,15 d ($\rho = 0,00075$ bij $E_c = f_{cd}/0,00175$) volgt dat κ_e gelijk is aan 0,0022/d. De vloer zal over een beperkte lengte niet scheuren zodat de aangenomen relatie tussen hoekverdraaiing en kromming enigszins conservatief is.

Om dit effect in rekening te brengen is de grootte van de hoekverdraaiing met 15% gereduceerd. Daaruit volgt dat de hoekverdraaiing van de vloer φ_v benaderd kan worden met

$$\varphi_v = 0,6 \cdot 10^{-3} l_v/d = 0,6 \cdot 10^{-3} \lambda_v$$

Als de hoekverdraaiing van de vloer φ_v gelijk gesteld wordt aan de rotatiecapaciteit van de wand φ_r , dan volgt de benodigde vloerslankheid waarbij de hoekverdraaiing gelijk is aan de de rotatiecapaciteit uit:

$$\lambda_v = 1670 \varphi_r$$

Uit een vergelijking van deze hoekverdraaiing en de rotatiecapaciteit van de wanden volgt de grenswaarde van de slankheid van de vloer:

λ	wanddikte	φ_r	$\lambda_{v,\text{grens}}$
30	100 mm	0,017	28
25	120 mm	0,016	26
20	150 mm	0,015	25
15	200 mm	0,010	16
12	250 mm	0,0075	12

De bepaling van de hoekverdraaiing op basis van de slankheid, kan gelijk worden gesteld aan de bepaling van de hoekverdraaiing op basis van een equivalente buigstijfheid van de vloer EI_{eq}

$$\varphi_v = 0,6 \cdot 10^{-3} \lambda_v = \frac{1}{24} \frac{p_d b l_v^3}{EI_{\text{eq}}} \Leftrightarrow \frac{p_d b l_v^3}{EI_{\text{eq}}} = 14,4 \cdot 10^{-3} \lambda_v$$

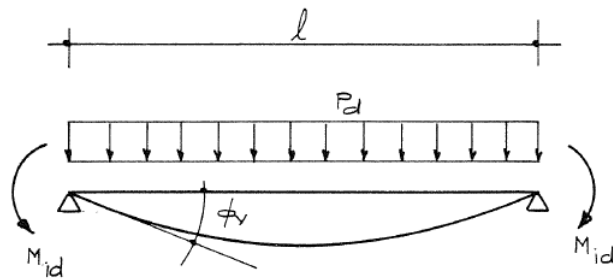
$$EI_{\text{eq}} = \frac{p_d b l_v^3}{0,0144 \lambda_v}$$

Als er aan het einde van de vloer inklemmingsmomenten aangrijpen, gelijk aan $\eta p_d b l_v^2$ dan volgt de hoekverdraaiing uit:

$$\varphi_v = \frac{1}{24} \frac{p_d b l_v^3}{EI_{\text{eq}}} - \frac{\eta p_d b l_v^3}{2EI_{\text{eq}}}$$

Dit is ook te herschrijven als:

$$\varphi_v = 0,6 \cdot 10^{-3} \lambda_v (1 - 12\eta)$$



figuur 3 Schema beschouwde vloer op twee steunpunten

Uit gelijkstelling van de rotatiecapaciteit van de wand aan de hoekverdraaiing van de vloer met een inklemningsmoment, is de waarde voor de momentcoëfficiënt η als functie van de vloerslankheid te beschrijven.

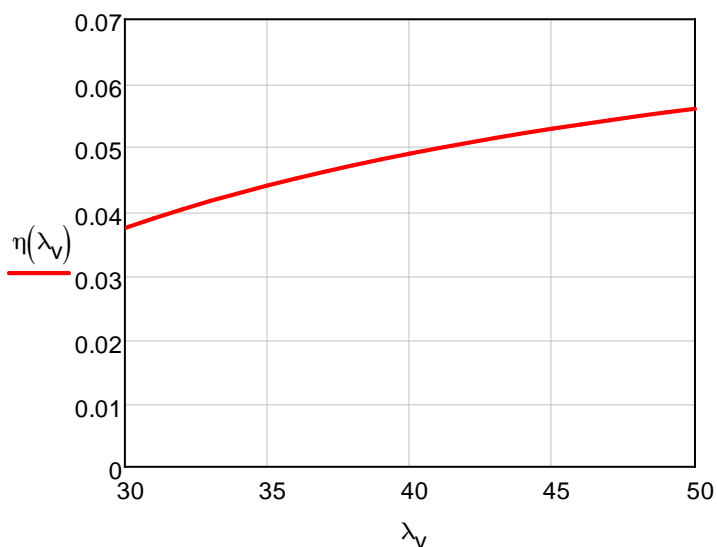
$$\varphi_r = 0,6 \cdot 10^{-3} \lambda_v (1 - 12\eta)$$

$$\eta = \frac{\lambda_v - 1670\varphi_r}{12\lambda_v}$$

Voor een wand met een dikte van 200 mm ($\lambda = 15$) en φ_r gelijk aan 0,01 leidt dit tot

$$\eta = \frac{\lambda_v - 16,7}{12\lambda_v} \quad (1)$$

Een grafische weergave hiervan is opgenomen in figuur 4. Deze kromme komt overeen met de krommen die in de NPR voor de variabele η zijn gegeven.



figuur 4 Verhouding tussen de vloerslankheid en de momentcoëfficiënt η voor het inklemningsmoment in vloeren opgelegd op twee steunpunten

De grootte van het maximale inklemmingsmoment van de vloer M_{id} kan niet groter zijn dan tweemaal het kopmoment M_{kop} op het uiteinde van de wand. Hieruit is betrekking voor de momentcoëfficiënt af te leiden:

$$\begin{aligned} M_{id} &= \eta p_d b l_v^2 \\ 2M_{kop} &= 2 \beta_{\max} b t^2 f_d \\ M_{id} &\leq 2 M_{kop} \Leftrightarrow \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{2\beta_{\max} t^2 f_d}{p_d l_v^2} \quad (2)$$

Indien uitdrukkingen (1) en (2) voor η aan elkaar gelijk worden gesteld volgt een vergelijking waarbij :

$$\frac{p_d l_v^2}{2\beta_{\max} t^2 f_d} \leq \frac{12\lambda_v}{\lambda_v - 1670\varphi_r}$$

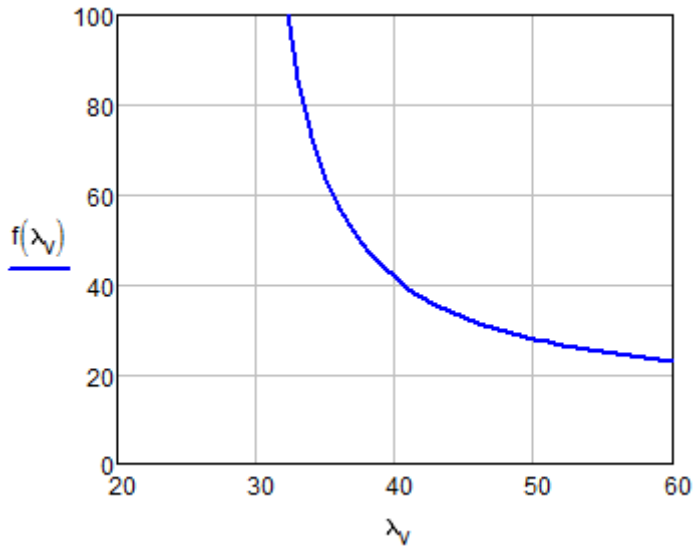
Hieruit volgt:

$$\frac{\frac{p_d l_v^2}{\text{kPa m}}}{\frac{f_d}{\text{MPa}}} \leq 24000 \beta_{\max} \left(\frac{t}{\text{m}}\right)^2 \frac{\lambda_v}{\lambda_v - 1670\varphi_r}$$

Voor een wand met een dikte van 100 mm, waarvoor $\beta_{\max} = 0,05$ en $\varphi_r = 0,017$ is hieruit de volgende relatie te beschrijven tussen de maximale vloerbelasting, de overspanning van de vloer, de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk en de vloerslankheid:

$$\frac{p_d l_v^2}{f_d} \leq \frac{12\lambda_v}{\lambda_v - 28}$$

Deze voorwaarde is, samen met $\lambda_{v:\text{grens}} = 28$, als aanvullende voorwaarde opgenomen voor het toetsen van een eindwand met een wanddikte van 100 mm in de huidige versie van de NPR 9096-1-1. Hierbij is het rechterdeel van de vergelijking beschreven als $f(\lambda_v)$. Voor een wand met een dikte van 100 mm is de waarde van $f(\lambda_v)$ als functie van λ_v gegeven in figuur 5.



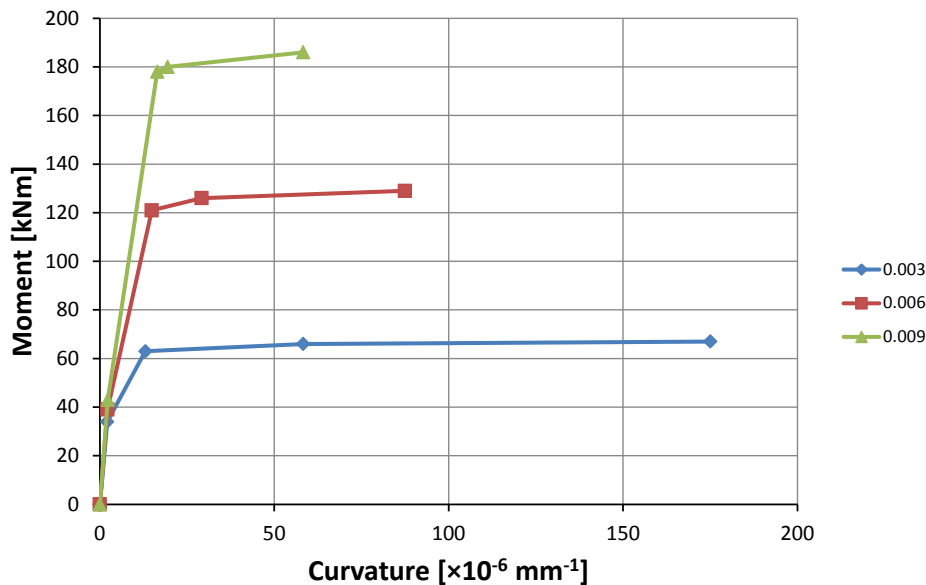
figuur 5 Waarde van $f(\lambda_v)$ bij een wand van 100 mm en een vloer dragend op twee steunpunten

3 Beschouwing

Uit de voorgaande afleiding blijkt dat er geen directe voorwaarde is gesteld aan de overspanning van de vloeren die op de wanden zijn opgelegd. In de NPR 6791 van 1991 is gesteld dat de vloeroverspanning niet groter zou moeten zijn dan 7 meter. In de uitgave van 2009 is dit verruimd tot 7,2 meter. Deze voorwaarde is in de NPR 9096-1-1 overgenomen.

Indirect zijn er echter een aantal uitgangspunten gehanteerd waarvan de geldigheid bij een grotere vloeroverspanning enigszins betwist kan worden of die, gebaseerd op een wijziging van materiaaleigenschappen aanpassing zouden behoeven. Deze uitgangspunten hebben vooral betrekking op de aangenomen relatie tussen de rotatie van de vloeren en de relatie met de kromming van de vloer op het moment dat de wapening juist niet vloeit.

Ter onderbouwing van een en ander is hierna in figuur 6 het moment-krommingsgedrag van een gewapend betondoorsnede geschetst bij verschillende wapeningsverhoudingen ρ .



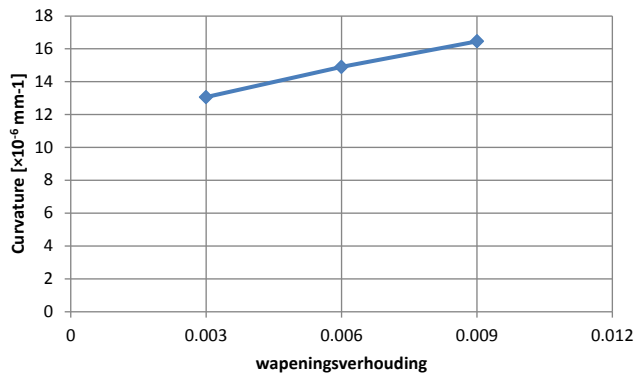
figuur 6 Moment-krommingsdiagram van een gewapende betondoorsnede ($1 \times 0,25 \text{ m}^2$) met verschillende wapeningsverhoudingen (C30/37 – B500B)

Ten eerste wordt opgemerkt dat in Nederland op dit moment wapeningsstaal met een karakteristieke vloeigrens van 500 N/mm^2 wordt gebruikt. Gecorrigeerd wordt in berekeningen aangenomen dat het staal vloeit bij 500 N/mm^2 . Dit leidt tot een verhoging van de kromming bij vloeien κ_e hetgeen als uitgangspunt in de afleiding is aangehouden.

Ten tweede wordt opgemerkt dat bij de berekening uitgegaan wordt van een zeer geringe drukzone hoogte ($0,15 d$). Indien, zoals bij een toets van de uiterste grenstoestand gebruikelijk is, de elasticiteitsmodulus gelijk wordt gehouden aan $f_{cd}/0,00175$ dan is deze drukzonehoogte aanwezig bij een zeer kleine wapeningsverhouding. Als de wapeningsverhouding toeneemt wordt de drukzone hoogte groter, wordt $(d - x_e)$ dus kleiner en neemt de kromming op het moment van vloeien van de wapening toe.

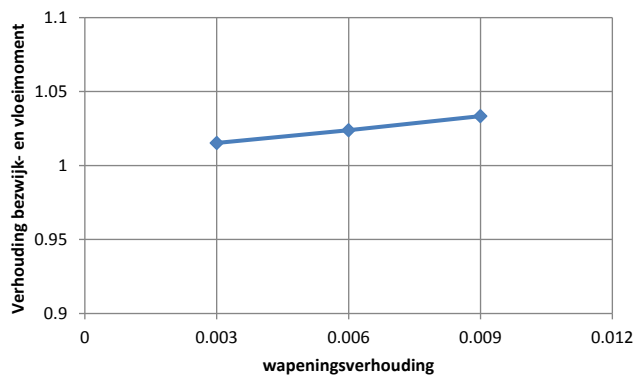
Met betrekking tot het voorgaande wordt opgemerkt er voor de aanname $E_c = f_{cd}/0,00175$ een alternatief is, door een hogere waarde voor E_c aan te houden en deze te reduceren voor het feitelijke krimpgedrag.

Ten derde wordt opgemerkt dat een toename van de overspanning de wapeningsverhouding in de doorsnede zal toenemen. Een toename van de wapeningsverhouding heeft bij de huidige beschouwing het gevolg dat de drukzone hoger wordt. Dus wordt de kromming bij begin vloeien groter dan in de afleiding is aangehouden, zie figuur 7.



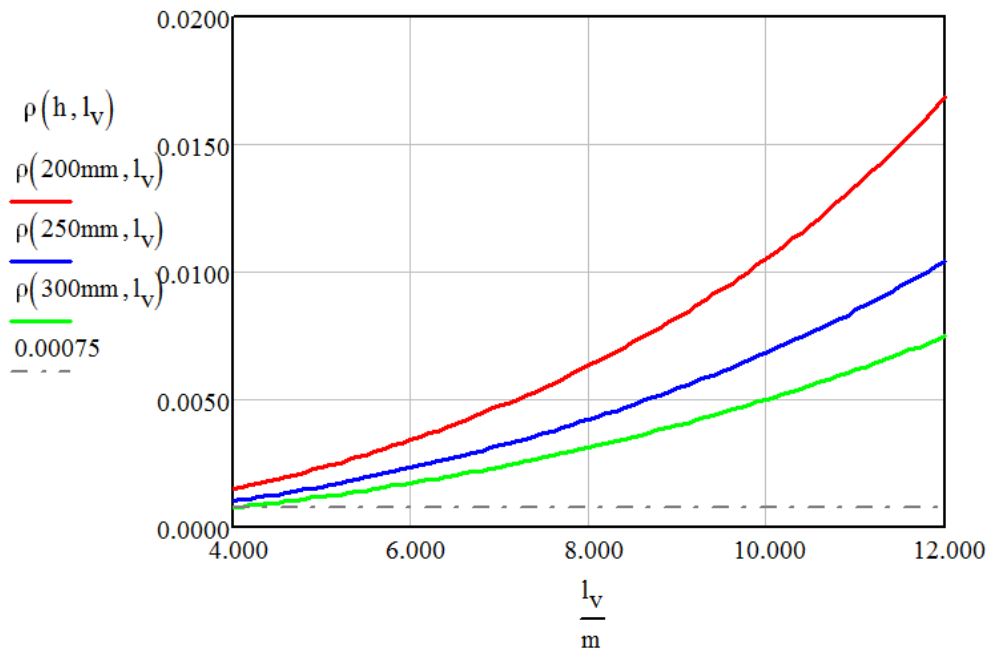
figuur 7 Verhouding tussen kromming op het moment van vloeien en de wapeningsverhouding

Ook wordt de verhouding tussen het bezwijkmoment en het vloeimoment bij een toename van de wapeningsverhouding groter. Daarom zal de kans dat de wapening daadwerkelijk gaat vloeien en de vloer, voorafgaand aan het bezwijken stijfheid verliest bij een beperkte toename van de belasting toenemen. De hoekverdraaiingen van de vloer zullen dan snel toenemen en de rotatiecapaciteit van de wand zal dan zeker onvoldoende zijn. Mogelijk zijn aanvullende eisen noodzakelijk om dit gedrag uit te sluiten. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een verhouding M_{Rd}/M_{Ed} .



figuur 8 Verhouding tussen het bezwijkmoment en het vloeimoment bij verschillende de wapeningsverhoudingen

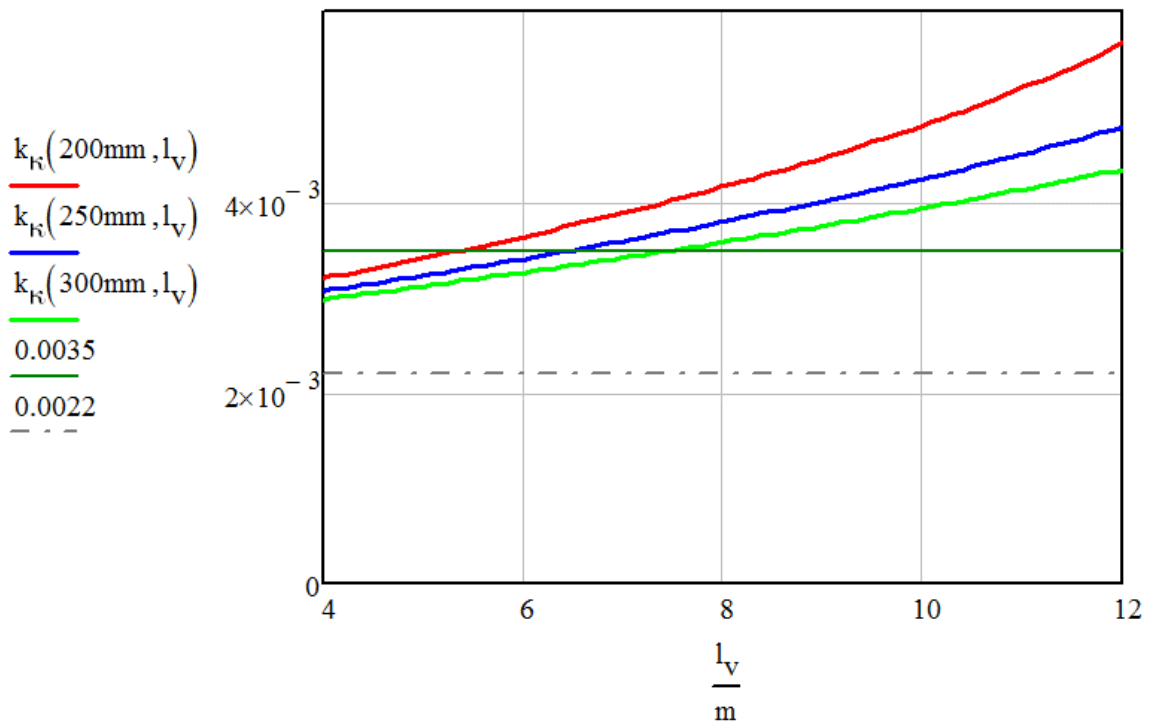
Al het voorgaande is beschouwd bij een berekening van een vloer die naast zijn eigen gewicht belast wordt door een rustende belasting van $1,8 \text{ kN/m}^2$ (afwerking en separatiewanden) en $1,75 \text{ kN/m}^2$ als veranderlijke last. Indien deze vloer beschouwd wordt voor CC1, wordt voor verschillende overspanningen en vloerdikten de benodigde wapeningsverhouding gevonden. Deze is in figuur 9 geschetst.



figuur 9 Benodigde wapeningsverhouding ρ als functie van de vloeroverspanning l_v en de vloerhoogte h

Het blijkt dat de wapeningsverhouding fors groter is dan de eerder aangehouden 0,00075. Hierna is de invloed hiervan op de grootte van de kromming bij het vloeien van de wapening bepaald. Hierbij is uitgegaan van wapeningsstaal met een vloeigrens van 500 MPa:

$$\kappa_c = \frac{k_{\kappa}}{d}$$



figuur 10 Krommingsfactor k_k als functie van de vloeroverspanning l_v en de vloerhoogte h

In de afleiding ten behoeve van de NPR 6791 is voor κ_e een waarde gelijk aan $0,0022/d$ aangehouden. Uit figuur 10 blijkt dat deze waarde geleid op de huidige uitgangspunten te laag is. Zeker als het toepassingsgebied van de regels wordt uitgebreid tot overspanningen groter dan 7,2 meter dient het uitgangspunt voor de maximale kromming in de vloer te worden aangepast.

Op basis van figuur 10 wordt voorgesteld $0,0035/d$ aan te houden. Hieruit volgt dan dat de hoekverdraaiing van de vloer zich als volgt verhoudt tot de slankheid van de vloer:

$$\varphi_v = 0,85 \frac{1}{3} \kappa_e l_v = 0,85 \frac{1}{3} 0,0035 \lambda_v \approx 0,001 \lambda_v$$

Deze relatie tussen de hoekverdraaiing en de vloerslankheid is aanvullend beoordeeld op basis van niet-lineair elastische berekeningen van een gewapende vloer, waarbij bij een overspanning van 7,2 meter en een wanddikte van 120 mm juist aan de voorwaarden zoals vermeld in NPR 9096-1-1 wordt voldaan.

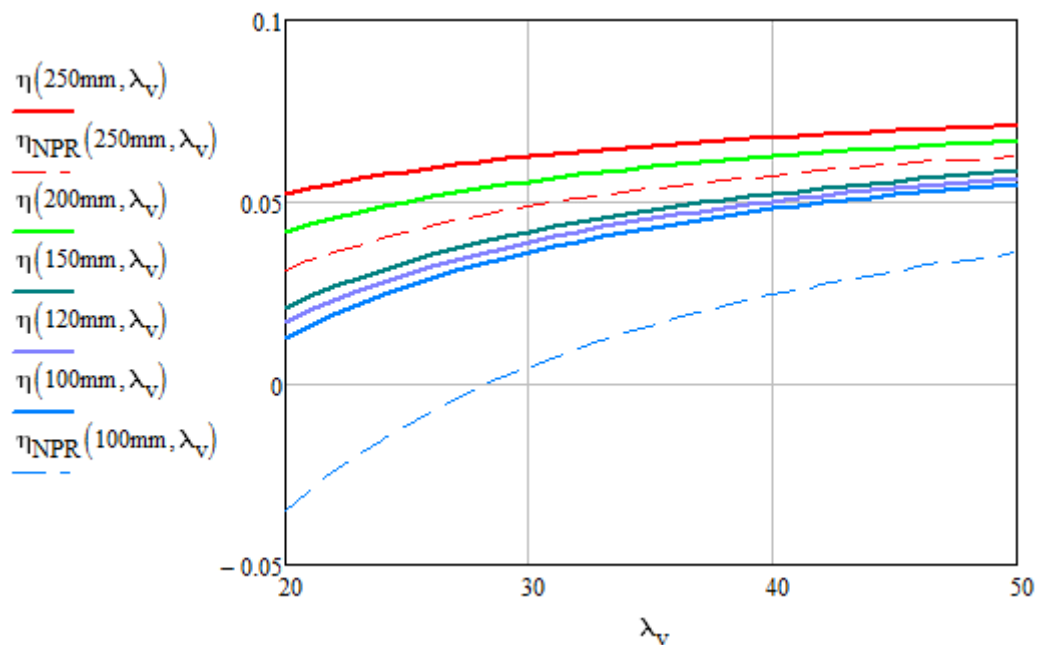
$$\begin{aligned}
 l_v &= 7200 \text{ mm} \\
 h_v &= 260 \text{ mm} \\
 d_v &= 240 \text{ mm} \\
 p_{Ed} &= 11,2 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Uit de uitgevoerde berekening volgt een rotatie van de vloer goed overeenkomt met de aangehouden relatie tussen φ_v en λ_v .

Bij deze verhouding tussen de hoekverdraaiing en de vloerslankheid is overeenkomstig de eerder beschreven afleidingen de volgende verhouding tussen de inklemmingsmomentfactor η , de vloerslankheid λ_v en de rotatiecapaciteit van de wand te bepalen:

$$\eta = \frac{\lambda_v - 1000\phi_r}{12\lambda_v}$$

Een grafische weergave van deze relatie voor verschillende wanddikten is opgenomen in figuur 11. Ter illustratie is de verhouding volgens de huidige NPR 9096-1-1 voor een wand van 250 mm en een wand van 100 mm, met een dunne onderbroken lijn toegevoegd (η_{NPR}).



figuur 11 factor η voor het inklemmingsmoment als functie van de vloerslankheid λ_v en de wanddikte t

Het blijkt dat de grootte van het benodigde inklemmingsmoment significant moet toenemen.

Evenzo kunnen de waarden voor de grensslankheid $\lambda_{v,\text{grens}}$ en de functiewaarde $f(\lambda_v)$ worden bepaald. Deze waarden zijn hierna gegeven in tabel 1. De waarden voor een vloeroverspanning niet groter dan 7,2 meter zijn de waarden uit de huidige NPR. Die voor een grotere vloeroverspanning zijn bepaald op basis van de hiervoor beschreven maximale kromming van de vloer.

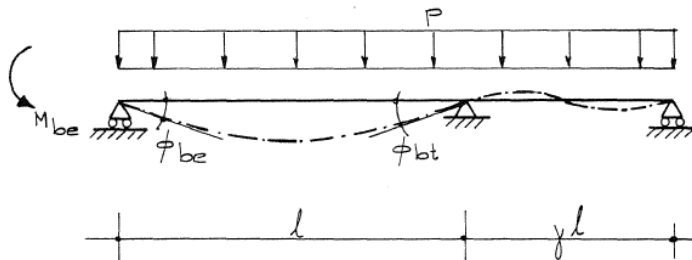
tabel 1 Grenswaarden bij niet-doorgaande vloeren op twee steunpunten

t mm	$l_v \leq 7,2 \text{ m}$		$l_v > 7,2 \text{ m}$	
	$\lambda_{v,\text{grens}}$	$f(\lambda_v)$	$\lambda_{v,\text{grens}}$	$f(\lambda_v)$
100	28	$\frac{12\lambda_v}{\lambda_v - 28}$	17	$\frac{12\lambda_v}{\lambda_v - 17}$
120	26	$\frac{19\lambda_v}{\lambda_v - 26}$	16	$\frac{19\lambda_v}{\lambda_v - 16}$
150	25	$\frac{32\lambda_v}{\lambda_v - 25}$	15	$\frac{32\lambda_v}{\lambda_v - 15}$
200	16	$\frac{76\lambda_v}{\lambda_v - 16}$	10	$\frac{76\lambda_v}{\lambda_v - 10}$
250	12	$\frac{105\lambda_v}{\lambda_v - 12}$	7,5	$\frac{105\lambda_v}{\lambda_v - 7,5}$

4 Situatie bij doorgaande vloeren

4.1 Situatie volgens NPR 9096-1-1

Bij doorgaande vloeren is in rapport 1207-1-0 de volgende situatie beschouwd, zie figuur 12.



figuur 12 Schema gehanteerd in Hageman rapport 1207-1-0

De grootste hoekverdraaiing ter plaatse van het eindsteunpunt wordt gevonden als het aangrenzende veld de helft van de overspanning heeft, oftewel $\gamma = 1/2$. In dat geval geldt:

$$\varphi_v = \frac{1}{24} \frac{p_d b l_v^3}{EI_{eq}} \left(\frac{5}{8} - \frac{20}{3} \eta \right)$$

Eerder is het verband tussen de vloerslankheid λ_v en de hoekverdraaiing van de vloer beschreven voor een statisch bepaalde ligger op twee steunpunten:

$$\varphi_v = \frac{1}{24} \frac{p_d b l_v^3}{EI_{eq}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \lambda_v$$

zodat:

$$\varphi_v = 0,6 \cdot 10^{-3} \lambda_v \left(\frac{5}{8} - \frac{20}{3} \eta \right)$$

Als η gelijk aan 0 wordt gesteld en de rotatie van de vloer φ_v gelijk wordt gesteld aan de rotatiecapaciteit van de wanden φ_r kan de grenswaarde van de vloerslankheid worden bepaald:

$$\lambda_{v,grens} = \frac{8}{5} \frac{\varphi_r}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 2670 \varphi_r$$

λ	wanddikte	φ_r	$\lambda_{v,grens}$
30	100 mm	0,017	$45^{1/3}$
25	120 mm	0,016	$42^{2/3}$
20	150 mm	0,015	40
15	200 mm	0,010	$26^{2/3}$
12	250 mm	0,0075	20

De vergelijking waarin de hoekverdraaiing wordt uitgedrukt als functie van de vloerslankheid en de inklemmingscoëfficiënt kan herschreven worden. Als vervolgens de hoekverdraaiing van de vloer gelijk stelt wordt aan de rotatiecapaciteit van de wand volgt:

$$\eta = \frac{3}{20} \left(\frac{5\lambda_v - 13360\varphi_r}{8\lambda_v} \right)$$

Eerder is beschreven dat het inklemmingsmoment in de vloer beperkt wordt door de grootte van het moment aan de kop van de wanden. Hieruit is afgeleid dat:

$$\eta = \frac{2\beta_{max} t^2 f_d}{p_d l_v^2}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{\frac{p_d}{\text{kPa}} \frac{l_v^2}{\text{m}}}{\frac{f_d}{\text{MPa}}} \leq 64000 \beta_{max} \left(\frac{t}{\text{m}} \right)^2 \frac{\lambda_v}{3\lambda_v - 8016\varphi_r}$$

Voor een wand met een dikte van 100 mm, waarvoor $\beta_{max} = 0,05$ en $\varphi_r = 0,017$ is hieruit de volgende relatie te beschrijven tussen de maximale vloerbelasting, de overspanning van de vloer, de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk en de vloerslankheid:

$$\frac{p_d l_v^2}{f_d} \leq \frac{32 \lambda_v}{3 \lambda_v - 136}$$

Deze voorwaarde is, samen met $\lambda_{v,\text{grens}} = 45^{1/3}$, als aanvullende voorwaarde opgenomen voor het toetsen van een eindwand voor een doorgaande vloer met een wanddikte van 100 mm in de huidige versie van de NPR 9096-1-1.

4.2 Situatie met een grotere overspanning

Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven dient de aangehouden verhouding tussen de hoekverdraaiing van de vloer en de slankheid van de vloer, bij grotere overspanningen te worden aangepast. Op basis van het uitgangspunt dat $\kappa_e = 0,0035$ d wordt de volgende verhouding aangehouden.:

$$\varphi_v = 0,001 \lambda_v$$

De in paragraaf 4.1 beschreven vergelijkingen dienen dan als volgt te worden aangepast:

$$\varphi_v = 1,0 \cdot 10^{-3} \lambda_v \left(\frac{5}{8} - \frac{20}{3} \eta \right)$$

De grenswaarde van de vloerslankheid volgt uit:

$$\lambda_{v,\text{grens}} = \frac{8}{5} \frac{\varphi_r}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 1600 \varphi_r$$

Uit voorgaande vergelijkingen kan de factor η voor de grote van het benodigde inklemmingsmoment in de vloer worden bepaald:

$$\eta = \frac{3}{20} \left(\frac{5 \lambda_v - 8000 \varphi_r}{8 \lambda_v} \right)$$

De waarde voor $f(\lambda_v)$ volgt uit:

$$\frac{\frac{p_d l_v^2}{f_d} \frac{\text{kPa m}}{\text{MPa}}}{\text{MPa}} \leq 64000 \beta_{\text{max}} \left(\frac{t}{m} \right)^2 \frac{\lambda_v}{3 \lambda_v - 4800 \varphi_r}$$

Voor de verschillende wanddikten zijn de resultaten samengevat in tabel 2.

tabel 2 Grenswaarden bij doorgaande vloeren op twee steunpunten

t mm	$l_v \leq 7,2$ m		$l_v > 7,2$ m	
	$\lambda_{v,grens}$	$f(\lambda_v)$	$\lambda_{v,grens}$	$f(\lambda_v)$
100	$45^{1/3}$	$\frac{32\lambda_v}{3\lambda_v - 136}$	$27^{1/3}$	$\frac{32\lambda_v}{3\lambda_v - 82}$
120	$42^{2/3}$	$\frac{50\lambda_v}{3\lambda_v - 128}$	$25^{2/3}$	$\frac{50\lambda_v}{3\lambda_v - 77}$
150	40	$\frac{86\lambda_v}{3\lambda_v - 120}$	24	$\frac{86\lambda_v}{3\lambda_v - 72}$
200	$26^{2/3}$	$\frac{204\lambda_v}{3\lambda_v - 80}$	16	$\frac{204\lambda_v}{3\lambda_v - 48}$
250	20	$\frac{280\lambda_v}{3\lambda_v - 60}$	12	$\frac{280\lambda_v}{3\lambda_v - 36}$

5 Toepasbaarheid van regels

5.1 Niet-doorgaande vloeren

Hierna wordt voor een vloer met een woonfunctie, met een overspanning van 7,2 meter nagegaan wat de minimale vloerdikte is, zodat bij een wanddikte van 120 mm en een metselwerkdruksterkte van 4 N/mm² nog juist aan de eisen wordt voldaan.

Hierbij zijn de gehanteerde uitgangspunten samengevat:

algemeen:	CC1
vloer:	$l_v = 7,2$ m
	$p_{rk} = 1,8$ kN/m ²
	$p_{qk} = 1,75$ kN/m ²
	$p_{gk} = h_v \cdot 24$ kN/m ³ + p_{rk}
	$d_v = h_v - 20$ mm
wand:	$t = 120$ mm
	$f_d = 4$ N/mm ²

Uit een berekening blijkt dat de dunste vloer waarbij aan de voorwaarden van de huidige NPR wordt voldaan gelijk is aan 255 mm terwijl bij een uitbreiding van de regels bij een overspanning die iets groter is dan 7,2 m 430 mm vloerdikte benodigd is.

variabele	$l_v \leq 7,2$ m	$l_v > 7,2$ m
h_v	255 mm	430 mm
d_v	235 mm	410 mm
λ_v	$7200/235 = 30,6$	$7200/410 = 17,6$
p_{gk}	$0,235 \cdot 24 + 1,8 = 7,92$ kN/m ²	$0,430 \cdot 24 + 1,8 = 12,1$ kN/m ²
p_{Ed}	$1,1 \cdot 7,92 + 1,35 \cdot 1,75 = 11,1$ kN/m ²	$1,1 \cdot 12,1 + 1,35 \cdot 1,75 = 15,7$ kN/m ²
$\lambda_{v,grens}$	26	16

$\frac{p_d l_v^2}{f_d}$	$\frac{11,1 \cdot 7,2^2}{4} = 144$	$\frac{15,7 \cdot 7,2^2}{4} = 209$
$f(\lambda_v)$	$\frac{19\lambda_v}{\lambda_v - 26} = \frac{19 \cdot 30,6}{30,6 - 26} = 149$	$\frac{19\lambda_v}{\lambda_v - 16} = \frac{19 \cdot 17,6}{17,6 - 16} = 214$

Als bij het gebruik van de regels voor $l_v > 7,2$ m de sterkte van het metselwerk wordt verdubbeld naar 8 N/mm² dan is de benodigde vloerdikte gelijk 380 mm. Geconcludeerd wordt dat:

- o er sprake is van een fors verschil tussen de resultaten die uit beide berekeningen volgen;
- o de resultaten van de rekenregels voor $l_v > 7,2$ m niet passen bij de in de praktijk gebruikelijke maten.

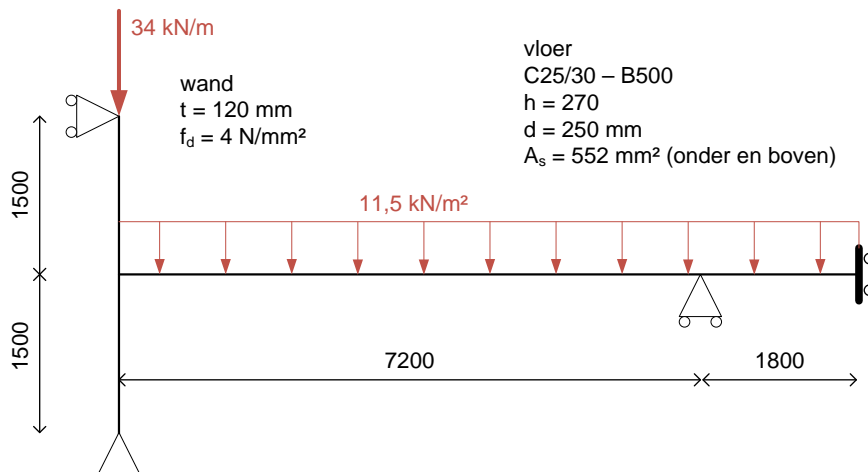
5.2 Doorgaande vloeren

Eenzelfde berekening is hierna gepresenteerd voor een situatie met doorgaande vloeren.

Uit een berekening blijkt dat de dunste vloer waarbij aan de voorwaarden van de NPR wordt voldaan gelijk is aan 165 mm terwijl bij de uitbreiding van de regels voor grotere overspanningen een vloerdikte van 270 mm benodigd is.

variabele	$l_v \leq 7,2$ m	$l_v > 7,2$ m
h_v	165 mm	270 mm
d_v	145 mm	250 mm
λ_v	$7200/145 = 49,7$	$7200/250 = 28,8$
p_{gk}	$0,165 \cdot 24 + 1,8 = 5,76$ kN/m ²	$0,27 \cdot 24 + 1,8 = 8,3$ kN/m ²
p_{Ed}	$1,1 \cdot 5,76 + 1,35 \cdot 1,75 = 8,7$ kN/m ²	$1,1 \cdot 8,3 + 1,35 \cdot 1,75 = 11,5$ kN/m ²
$\lambda_{v,grens}$	42,7	$25^{2/3}$
$\frac{p_d l_v^2}{f_d}$	$\frac{8,7 \cdot 7,2^2}{4} = 113$	$\frac{11,5 \cdot 7,2^2}{4} = 149$
$f(\lambda_v)$	$\frac{50\lambda_v}{3\lambda_v - 128} = \frac{50 \cdot 49,7}{3 \cdot 49,7 - 128} = 122$	$\frac{50\lambda_v}{3\lambda_v - 77} = \frac{50 \cdot 28,8}{3 \cdot 28,8 - 77} = 152$

Afwijkend van de situatie bij niet-doorgaande vloeren lijkt de uitbreiding van de regels voor doorgaande vloeren tot iets meer realistische waarden te leiden. Hierna is de situatie beschreven voor een overspanning groter dan 7,2 m is ook geanalyseerd met een niet-lineaire berekening. De berekening is uitgevoerd voor de wand-vloer aansluiting van de één na hoogste vloer in een gebouw. Hierbij is de normaalkracht op de wand boven de vloer, gelijk aangehouden aan de reactiekracht vanuit de vloer op de wand, zie figuur 13.



figuur 13 Schema voor niet-lineaire berekening (bijlage A)

De resultaten daarvan zijn opgenomen in bijlage A van deze notitie. Ook in die situatie kan juist evenwicht worden bereikt. Hierna zijn een aantal bevindingen uit de berekening samengevat:

- De hoekverdraaiing aan de bovenzijde van de onderste kalkzandsteenwand is gelijk aan 0,019 rad. Dit is groter dan volgens de Heron publicatie opneembaar zou zijn: $\varphi_r = 0,016$ rad.
- Het moment aan de bovenzijde van de wand is gelijk aan 3,49 kNm. Bij de aanwezige normaalcracht resulteert dit in een excentriciteit van 50 mm. In dat geval is β gelijk aan 0,06, ook dit is groter dan β_{\max} volgens de Heron publicatie: $\beta_{\max} = 0,055$.
- Uit de analyse blijkt ook dat het uitgangspunt dat het inklemmingsmoment gelijk kan zijn aan tweemaal het uiterst opneembare kopmoment, zeker voor hoger gelegen wanden niet geheel juist is. Door de beperkte normaalcracht kan aan de voet van de hoger gelegen wand niet het volledige kopmoment ontwikkeld worden. In de niet-lineaire analyse is het kopmoment aan de voet van de hoger gelegen wand gelijk aan 1,87 kNm. Dit is beduidend kleiner dan de 3,49 kNm boven in de onderste wand.

Bij een gelijke niet-lineaire berekening met een vloerdikte van 165 mm wordt een evenwichtssituatie gevonden bij een overspanning van 6,0 m.

Het voorgaande overwegende wordt, mede omdat in de niet-lineaire berekening een evenwichtsstand wordt gevonden, voornamelijk de voorgaande afleiding niet aangepast. Als het wenselijk is dat er een meer geleidelijke overgang is tussen de twee regels, dan vereist het gedrag van de constructies dat de aanpassingen worden uitgevoerd in het domein met overspanningen kleiner dan 7,2 meter. Dit zal een breuk met oude regelgeving zijn, waarvan de noodzaak meer onderzoek vergt dan ten behoeve van deze notitie is uitgevoerd.

6 Ongescheurde vloeren

Betonvloeren worden veelvuldig in voorgespannen beton uitgevoerd. Dit kan in de vorm van kanaalplaatvloeren of breedplaatvloeren met voorgespannen breedplaten. Deze vloeren zullen pas bij een hogere belasting scheuren dan de regulier gewapende vloeren. Als ze scheuren zal het gedrag niet significant afwijken van hetgeen hiervoor is beschreven. Echter als de vloeren niet scheuren

gedragen ze zich stijver en is de interactie met de dragende wanden meer beperkt. Ervaringen leren dat het in de praktijk regelmatig voorkomt dat de voorgespannen vloeren zo zijn voorgespannen dat ze bij het beschouwen van de belastingen voor de fundamentele belastingscombinatie niet scheuren. Voor die situatie zijn hierna voor niet-doorgaande vloeren de grensslankheden afgeleid.

Ten gevolge van de voorspanning is in de situatie waarbij de werkvoorspankracht de enige belasting is, onder in de vloer, daar waar de eerste scheur verwacht wordt een drukspanning $\sigma_{pm\infty}$ aanwezig. Aangenomen wordt dat het beton zal scheuren bij de rekenwaarde van de treksterkte f_{ctd} .

De bijkomende rek onder in het beton, juist voor het moment van scheuren is dan als volgt te bepalen:

$$\varepsilon_r = 0,00175 \frac{\sigma_{pm\infty} + f_{ctd}}{f_{cd}}$$

De kromming op dat moment is gelijk aan:

$$\kappa_r = \frac{2\varepsilon_r}{h} \approx \frac{2,2\varepsilon_r}{d}$$

Zoals eerder beschreven is de hoekverdraaiing van de vloer te beschrijven middels:

$$\varphi_v = \frac{1}{3} \kappa_r l_v = \frac{2,2}{3} \varepsilon_r \lambda_v$$

De rotatiecapaciteit van de wanden is eerder in deze notitie beschreven en wordt hier herhaalt:

λ	wanddikte	φ_r
30	100 mm	0,017
25	120 mm	0,016
20	150 mm	0,015
15	200 mm	0,010
12	250 mm	0,0075

Als de hoekverdraaiing van de vloer kleiner is dan de rotatiecapaciteit van de wand φ_r , dan zal er geen bezwijken optreden. Bij een bekende waarde van φ_r kan de relatie tussen ε_r en de grensvloerslankheid $\lambda_{v;grens}$ worden gevonden:

$$\lambda_{v;grens} = \frac{3}{2,2} \frac{\varphi_r}{\varepsilon_r} = 1,36 \frac{\varphi_r}{\varepsilon_r}$$

Stel een situatie waarbij onder in een kanaalplaatvloer (C45/55) ten gevolge van de werkvoorspankracht in het beton een drukspanning van 8 N/mm² aanwezig is. De grensslankheid van de vloer, als hij wordt toegepast in combinatie met een dragende wand met een dikte van 120 mm volgt dan uit de volgende berekening.

$$\varepsilon_r = 0,00175 \frac{\sigma_{pm\infty} + f_{ctd}}{f_{cd}} = 0,00175 \frac{8 + 1,8}{30} = 0,572 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{v,grens} = \frac{3}{2,2} \frac{\varphi_r}{\varepsilon_r} = 1,36 \frac{0,016}{0,572 \cdot 10^{-3}} = 38,0$$

Bij een overspanning van 7,2 m zou kunnen volstaan met een effectieve vloerdikte gelijk aan $7,2/38 = 0,19$ m.

Gelijk aan de voorgaande berekening is een tabel opgesteld waarbij uitgaande van de een verschillende sterkteklassen voor het beton, voor verschillende betondrukspanningen en wanddikten de grensslankheid is bepaald.

tabel 3 Grensslankheid $\lambda_{v,grens}$ voor ongescheurde niet-doorgaande betonvloeren

Sterkteklasse C25/30

wanddikte [mm]	drukspanning onder in het beton ($\sigma_{pm\infty}$) in MPa					
	0	2	4	6	8	10
100	184	69	42	31	a	a
120	174	65	40	29	a	a
150	163	61	37	27	a	a
200	108	41	25	18	a	a
250	81	30	19	14	a	a

Sterkteklasse C35/45

wanddikte [mm]	drukspanning onder in het beton ($\sigma_{pm\infty}$) in MPa					
	0	2	4	6	8	10
100	206	88	56	41	33	a
120	194	83	53	39	31	a
150	182	78	50	36	29	a
200	121	52	33	24	19	16
250	91	39	25	18	14	12

Sterkteklasse C45/55

wanddikte [mm]	drukspanning onder in het beton ($\sigma_{pm\infty}$) in MPa					
	0	2	4	6	8	10
100	224	105	69	51	41	34
120	211	99	65	48	38	32
150	198	93	61	45	36	30
200	132	62	41	30	24	20
250	99	46	30	23	18	15

^a de grensslankheid van een gescheurde vloer is bepalend

^b voor afwijkende sterkteklassen van het beton mag lineair geïnterpoleerd worden

^c bij breedplaatvloeren moet de sterkteklasse van de druklaag worden gebruikt

De hiervoor uitgevoerde benadering wordt niet uitgevoerd voor doorgaande vloeren. Dit omdat de stijfheid bij negatieve buiging ter plaatse van de tussensteunpunten bij voorgespannen vloersystemen in het algemeen afwijkend is. Bij kanaalplaatvloeren is er in het algemeen geen sprake van doorgaande vloeren en bij breedplaatvloeren met voorgespannen breedplaten is de voorspanning uitsluitend in de breedplaat aanwezig en zal de vloer bij negatieve buiging relatief snel zijn stijfheid verliezen door het optreden van scheurvorming.

7 Wijzigingsvoorstel NPR 9096-1-1

6.1.2.3 Methode voor het bepalen van de reductiefactor Φ met behulp van voorwaarden en tabellen

- (1) De methode bestaat uit het toetsen van de voorwaarden, waarna de reductiefactor Φ met behulp van tabellen kan worden bepaald. De voorwaarden worden verdeeld in algemene voorwaarden aan de bouwconstructie en aanvullende voorwaarden aan de beschouwde wand, de aangrenzende vloeren en de daarop werkende belastingen.

De tabellen voor het bepalen van de reductiefactor gelden voor eindwanden en tussenwanden. Eindwanden zijn wanden waarop slechts vanaf één zijde een vloer is opgelegd. Tussenwanden zijn wanden waarop vanaf twee zijden een, eventueel doorgaande, vloer is opgelegd.

- (2) Algemene voorwaarden voor de toepassing van de tabellen voor het bepalen van de reductiefactor zijn:
- de vloeren zijn verbonden met één of meer schorende constructies;
 - de vloerslankheid, λ_v , zoals beschreven in (c) hierna, is niet groter dan 50.
- (3) De tabellen mogen voor tussenwanden zonder verdere, aanvullende voorwaarden worden toegepast. Voor eindwanden mogen de tabellen slechts worden toegepast indien de vloeren voldoen aan de aanvullende voorwaarden zoals beschreven in (4) hierna en indien bovendien aan één van de volgende twee voorwaarden is voldaan:

$$\lambda_v \leq \lambda_{v,\text{grens}}$$

of

$$\frac{\rho_{Ed} l_v^2}{f_d} \leq f(\lambda_v)$$

waarin:

λ_v is de vloerslankheid;

$$= l_v/d_v$$

l_v is de vloeroverspanning, in m;

d_v is de nuttige vloerdikte, in m;

f_d is de rekenwaarde van de druksterkte van metselwerk, in N/mm²;

$$= \frac{f_k}{\gamma_M};$$

ρ_{Ed} is de rekenwaarde van de totale vloerbelasting, in kN/m²;

$\lambda_{v,\text{grens}}$ is de grensslankheid die volgt uit:

- tabel 9 voor niet-doorgaande vloeren met een overspanning niet groter dan 7,2 m;
- tabel 10 voor doorgaande vloeren

OPMERKING dit zijn vloeren opgelegd op meer dan 2 steunputen;

- tabel 11 voor niet-doorgaande voorgespannen vloeren waarbij de trekspanning bij de fundamentele belastingscombinaties niet groter is dan f_{ctd} volgens NEN-EN 1992-1-1;

$f(\lambda_v)$ is de functiewaarde van de vloerslankheid die volgt uit:

- tabel 9 voor niet-doorgaande vloeren met een overspanning niet groter dan 7,2 m;
 - tabel 10 voor doorgaande vloeren;
- voor voorgespannen vloeren met beperkte trekspanningen is de functiewaarde niet van toepassing.

Tabel 9 — Grenswaarden bij niet-doorgaande vloeren op twee steunpunten

t	$l_v \leq 7,2 \text{ m}^a$
-----	----------------------------

mm	$\lambda_{v,grens}$	$f(\lambda_v)$
100	28	$\frac{12\lambda_v}{\lambda_v - 28}$
120	26	$\frac{19\lambda_v}{\lambda_v - 26}$
150	25	$\frac{32\lambda_v}{\lambda_v - 25}$
200	16	$\frac{76\lambda_v}{\lambda_v - 16}$
250	12	$\frac{105\lambda_v}{\lambda_v - 12}$
^a niet-doorgaande vloeren met een overspanning groter dan 7,2 m vallen buiten het toepassingsgebied		

Tabel 10 — Grenswaarden bij doorgaande vloeren op meer dan twee steunpunten

t (mm)	$l_v \leq 7,2$ m		$l_v > 7,2$ m	
	$\lambda_{v,grens}$	$f(\lambda_v)$	$\lambda_{v,grens}$	$f(\lambda_v)$
100	$45^{1/3}$	$\frac{32\lambda_v}{3\lambda_v - 136}$	$27^{1/3}$	$\frac{32\lambda_v}{3\lambda_v - 82}$
120	$42^{2/3}$	$\frac{50\lambda_v}{3\lambda_v - 128}$	$25^{2/3}$	$\frac{50\lambda_v}{3\lambda_v - 77}$
150	40	$\frac{86\lambda_v}{3\lambda_v - 120}$	24	$\frac{86\lambda_v}{3\lambda_v - 72}$
200	$26^{2/3}$	$\frac{204\lambda_v}{3\lambda_v - 80}$	16	$\frac{204\lambda_v}{3\lambda_v - 48}$
250	20	$\frac{280\lambda_v}{3\lambda_v - 60}$	12	$\frac{280\lambda_v}{3\lambda_v - 36}$

Tabel 11 — Grenswaarden voor $\lambda_{v,grens}$ bij niet-doorgaande vloeren op twee steunpunten die onder het effect van de fundamentele belastingscombinatie niet zullen scheuren

Sterkteklasse C25/30

wanddikte [mm]	drukspanning onder in het beton ($\sigma_{pm\infty}$) in MPa					
	0	2	4	6	8	10
100	184	69	42	31	a	a
120	174	65	40	29	a	a
150	163	61	37	27	a	a
200	108	41	25	18	a	a
250	81	30	19	14	a	a

Sterkteklasse C35/45

wanddikte [mm]	drukspanning onder in het beton ($\sigma_{pm\infty}$) in MPa					
	0	2	4	6	8	10
100	206	88	56	41	33	a
120	194	83	53	39	31	a
150	182	78	50	36	29	a
200	121	52	33	24	19	16
250	91	39	25	18	14	12

Sterkteklasse C45/55

wanddikte [mm]	drukspanning onder in het beton ($\sigma_{pm\infty}$) in MPa					
	0	2	4	6	8	10
100	224	105	69	51	41	34
120	211	99	65	48	38	32
150	198	93	61	45	36	30
200	132	62	41	30	24	20
250	99	46	30	23	18	15

^a de grensslankheid van een gescheurde vloer is bepalend

^b voor afwijkende sterkteklassen van het beton mag lineair geïnterpoleerd worden

^c bij breedplaatvloeren moet de sterkteklasse van de druklaag worden gebruikt

- (4) De vloeren vervaardigd van gewapend beton, voorgespannen beton of gewapend cellenbeton, moeten in staat zijn om (toevallige) inklemmingsmomenten op te nemen met een rekenwaarde gelijk aan:

$$M_{Ei,d} = \eta p_{Ed} b l_v^2$$

waarin:

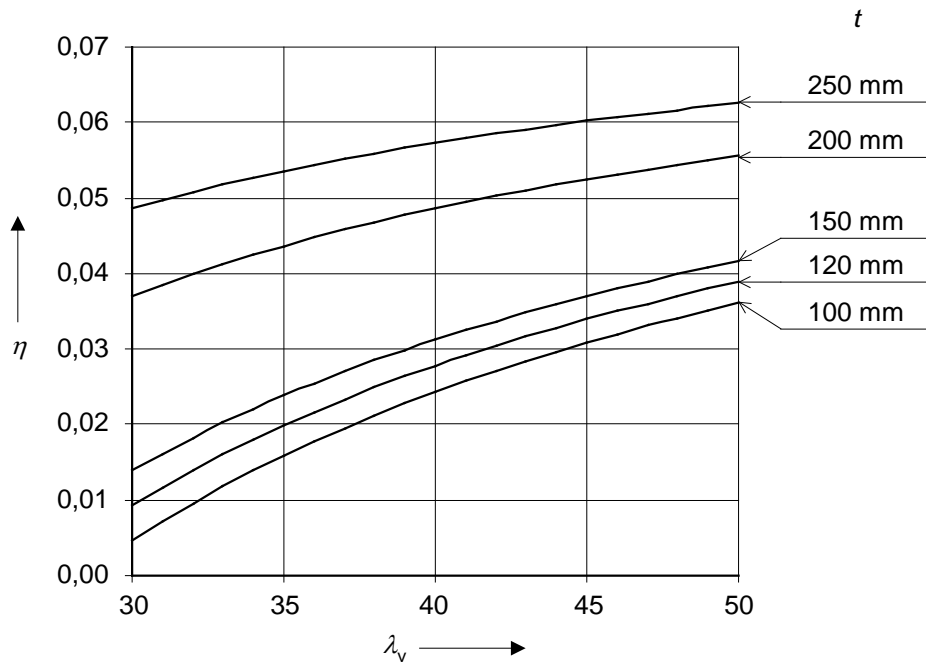
$M_{Ei,d}$ is de rekenwaarde van het inklemmingsmoment;

η is de momentcoëfficiënt volgens figuur 15 voor niet-doorgaande vloeren op twee steunpunten en volgens figuur 16 voor doorgaande vloeren op meer dan twee steunpunten;

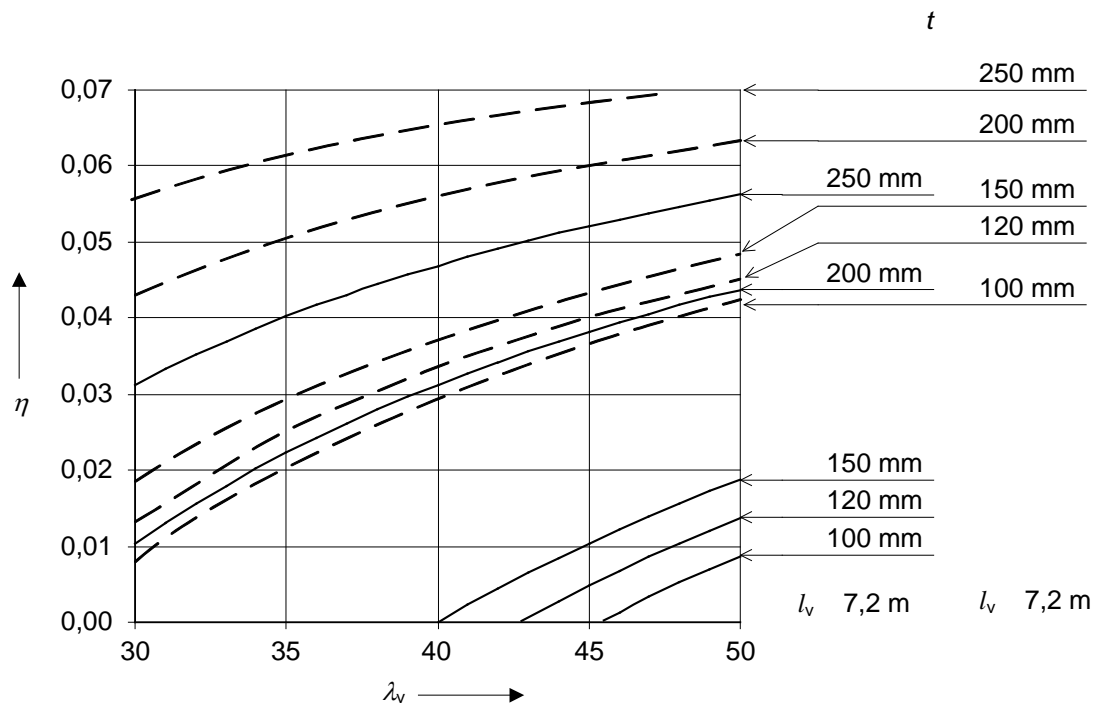
p_{Ed} is de rekenwaarde van de totale vloerbelasting;

b is de breedte van de vloer;

l_v is de vloeroverspanning.



Figuur 15 — Relatie tussen de vloerslankheid λ_v , de wanddikte t en de momentcoëfficiënt η voor niet-doorgaande vloeren opgelegd op twee steunpunten



Figuur 16 — Relatie tussen de vloerslankheid λ_v , de wanddikte t en de momentcoëfficiënt η voor doorgaande vloeren opgelegd op meer dan twee steunpunten

- (5) Afhankelijk van het type wand (tussenwand of eindwand), mag de waarde van Φ worden ontleend aan respectievelijk tabel 11 en tabel 12.

Tabel 11 — Reductiefactor Φ voor tussenwanden

t mm	h mm				
	2400	2600	2800	3000	3200
100	0,397	0,348	0,300	0,255	0,214
120	0,535	0,492	0,449	0,407	0,365
150	0,667	0,636	0,604	0,571	0,537
200	0,785	0,766	0,746	0,725	0,703
214	0,805	0,789	0,771	0,753	0,733
250	0,845	0,833	0,820	0,806	0,791
300	0,874	0,867	0,860	0,853	0,842

Tabel 12 — Reductiefactor Φ voor eindwanden

t mm	h mm				
	2400	2600	2800	3000	3200
100	0,214	0,165	0,124	0,090	0,027
120	0,365	0,312	0,262	0,216	0,175
150	0,537	0,491	0,445	0,399	0,355
200	0,703	0,672	0,640	0,607	0,573
214	0,733	0,705	0,677	0,646	0,615
250	0,791	0,770	0,748	0,724	0,700
300	0,842	0,827	0,811	0,795	0,777

8 Samenvatting en aanbeveling

In opdracht van de Technische commissie van de Stichting Stapelbouw is nagegaan in hoeverre het mogelijk is het toepassingsgebied van de bepalingsmethode voor het toetsen van de draagkracht van gemetselde wanden in een geschoord raamwerk, die is opgenomen in de NPR 9096-1-1 en die voortkomt uit de NPR 6791 uit 1991, uit te breiden tot vloeren met een overspanning groter dan 7,2 meter.

Bij de bepalingsmethode wordt onderscheid gemaakt tussen de situatie met niet-doorgaande en doorgaande vloeren. Uit de notitie blijkt dat er voor de toepassing met niet-doorgaande vloeren een praktische uitbreiding van de bepalingsmethode niet mogelijk is. De methode leidt dan tot niet praktische vloerdikten. In deze situatie is wel een uitbreiding mogelijk in het geval voorgespannen

vloeren, zoals kanaalplaten of voorgespannen breedplaatvloeren, zijn toegepast waarvan is aangetoond dat het beton bij de voorgeschreven fundamentele belastingscombinatie in het midden van de overspanning niet zal scheuren. Deze methode is beschreven in hoofdstuk 6 van deze notitie.

Voor doorgaande vloeren is een uitbreiding van de bepalingsmethode wel mogelijk. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 4.2 van deze notitie. Een uitbreiding voor voorgespannen niet-doorgaande vloeren is niet gegeven. Deze voorgespannen vloeren zullen zich bij negatieve buiging afwijkend gedragen dan in het geval van positieve buiging. In dat geval kan de methode voor niet-doorgaande vloeren worden gebruikt.

Uit eindelijk is een hoofdstuk 7 een wijzigingsvoorstel geformuleerd voor artikel 6.1.2.3 in NEN 9096-1-1, waarin de betreffende methode is beschreven. Ten opzichte van het oorspronkelijk artikel wordt de toepassing uitgebreid naar:

- doorgaande vloeren met een overspanning groter dan 7,2 m;
- niet doorgaande vloeren die bij de effecten van de voorgeschreven fundamentele belastingscombinatie niet zullen scheuren.

Rijswijk, 20-9-2017

Simon Wijte

Bijlage A – Resultaten niet lineaire berekening

Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.
Postbus 26 2280 AA Rijswijk tel:070-3990303

```
-----
Programma : RAAMWRK versie 5.27                               Bladno.: 1
Dossiernr.: 8971                                             Datum : 20-01-2017
Project   : uitbreiding NPR methode dragen                    Tijd  : 11:29
-----
Invoer omschrijving : Berekening van dragende wand met doorgaande vloer      20-01-** 11:29
-----
```

BEREKENING VAN EEN RAAMWERKKONSTRUKTIE

```
AANTAL KNOOPPUNTEN ..... : 14   AANTAL DOORSNEDETYPE..... : 0
AANTAL STAVEN ..... : 13   AANTAL BETON DOORSNEDETYPE : 2
AANTAL SCHIJVEN ..... : 0   AANTAL BALKTYPE..... : 0
AANTAL RANDVOORWAARDEN .... : 6   AANTAL SCHIJFTYPE..... : 0
AANTAL LINEAIRE VEREN ..... : 0   AANTAL VEERTYPE..... : 0
AANTAL NIET LIN. VEREN .... : 0   AANTAL STAVEN OP BEDDING .. : 0
GROOTSTE KNOOPNO.VERSCHIL . : 2   EVENWICHTSCONTROLE GETAL .. : 0.1000
```

AANTAL BELASTINGSGEVALLEN . : 1

STOPCRITERIUM VOOR ITERATIEPROCES : RELATIEF VERSCHIL 2 OP EEN VOLGENDE ITERATIES : .10000E+00 %
OF ABSOLUUT VERSCHIL 2 OP EEN VOLGENDE ITERATIES : .10000E-08

GEGEVENS VAN DE BETONDOORSNEDETYPE:

NAAM	MAT.TYPE	BREEDTE	HOOGTE	WAPENING	AFST. TOT	WAPENING	AFST. TOT	EIGEN.GEW.
	BETON STAAL			BOVENIN	BOVEN VEZEL	ONDERIN	ONDER VEZEL	
		M	M	M2	M	M2	M	KN/M
W	1	1	1.000	0.120	0.000000	0.000	0.000000	0.0000
V	2	1	1.000	0.270	0.000552	0.020	0.000552	0.0000

SIGMA-EPSILON DIAGRAMMEN VOOR BETON :

TYPE	EPSILON	SIGMA
		[KN/M2]

metzelwerk met een rekenwaarde van de druksterkte gelijk aan 4 N/mm²

1	-1.00000	0.00
1	-0.00351	0.00
1	-0.00350	-4000.00
1	-0.00250	-4000.00
1	0.00000	0.00
1	1.00000	0.00

beton C25/30 met een softening tak om het tension stiffening effect te beschrijven
volgens CUR-rapport 94-13 en NPR 9998

2	-1.00000	0.00
2	-0.00351	0.00
2	-0.00350	-16700.00
2	-0.00175	-16700.00
2	0.00000	0.00
2	0.00008	800.00
2	0.00100	0.00
2	1.00000	0.00

SIGMA-EPSILON DIAGRAMMEN VOOR STAAL :

TYPE EPSILON SIGMA
[KN/M2]

betonstaal B500

1	-1.00000	-435000.00
1	-0.00217	-435000.00
1	0.00000	0.00
1	0.00217	435000.00
1	1.00000	435000.00

DE KNOOPCOORDINATEN:

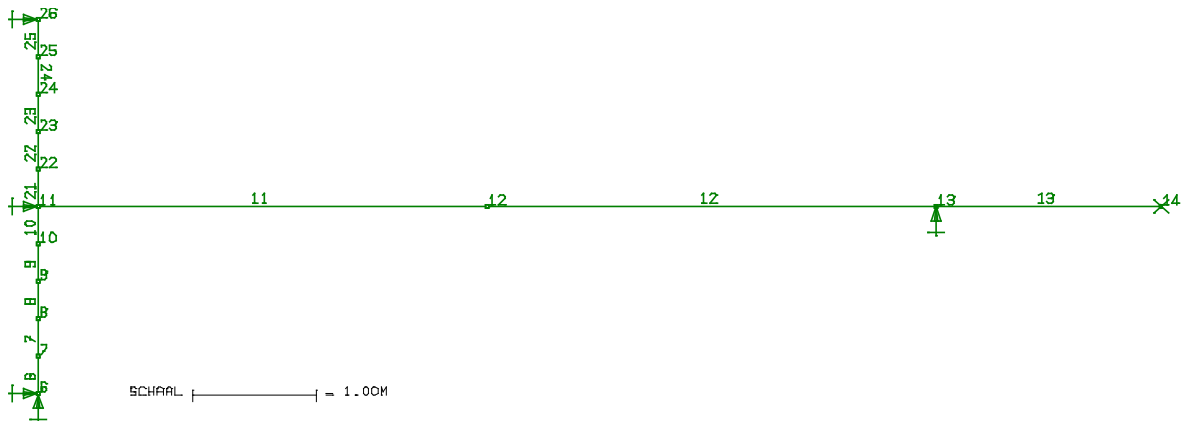
KPNO	---XX---	---YY---	KPNO	---XX---	---YY---	KPNO	---XX---	---YY---	KPNO	---XX---	---YY---
	M	M		M	M		M	M		M	M
6	0.000	-1.500	10	0.000	-2.700	14	9.000	-3.000	25	0.000	-4.200
7	0.000	-1.800	11	0.000	-3.000	22	0.000	-3.300	26	0.000	-4.500
8	0.000	-2.100	12	3.600	-3.000	23	0.000	-3.600			
9	0.000	-2.400	13	7.200	-3.000	24	0.000	-3.900			

STAAFGEGEVENS:

STFNO	BEGIN	EIND	AANSLUIT	VEERTYPE	UITVOER	LENGTE	NAAM	
	KNOOP	KNOOP	KODE	BEGIN	EIND	CODE	M	
6	6	7	1	0	0	1	0.300	W
7	7	8	1	0	0	1	0.300	W
8	8	9	1	0	0	1	0.300	W
9	9	10	1	0	0	1	0.300	W
10	10	11	1	0	0	1	0.300	W
11	11	12	1	0	0	1	3.600	V
12	12	13	1	0	0	1	3.600	V
13	13	14	1	0	0	1	1.800	V
21	11	22	1	0	0	1	0.300	W
22	22	23	1	0	0	1	0.300	W
23	23	24	1	0	0	1	0.300	W
24	24	25	1	0	0	1	0.300	W
25	25	26	1	0	0	1	0.300	W

BELEMNERDE VERPLAATSINGEN (RANDVOORWAARDEN) (1 = IN DE X-AS, 2 = IN DE Y-AS, 3 = ROTATIE, 4 = ROL ONDER HELLING)

KPNO	KODE	KPNO	KODE	KPNO	KODE	KPNO	KODE	KPNO	KODE
6	1	6	2	11	1	13	2	14	3
								26	1



figuur A-1 Schema van de constructie

BELASTINGSGEVAL NO.= 1 1

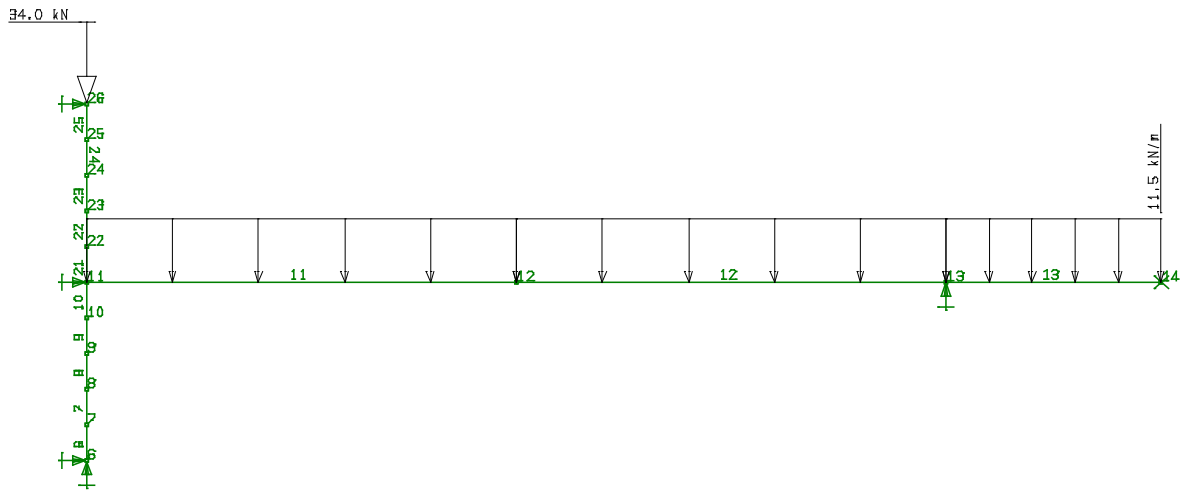
=====

STAAFBELASTINGEN: SOORT: P = PUNTLAST (KN) RICHTING: L = LOKAAL
 G = GEL. VERD. LAST (KN/M) G = GLOBAAL
 T = TRAPEZIUMLAST 1 (KN/M) X = IN DE X-AS (VAN L OF G)
 S = TRAPEZIUMLAST 2 (KN/M) Y = IN DE Y-AS (VAN L OF G)
 M = MOMENT (KNM)

STFNO	SOORT	RICHTING	GROOTTE	AFSTAND	GROOTTE	AFSTAND
				TOT BEGIN		TOT EIND
11	G	LY	11.500	0.000		0.000
12	G	LY	11.500	0.000		0.000
13	G	LY	11.500	0.000		0.000

KNOOPBELASTINGEN:

KPNO	KRACHT IN X-AS	KRACHT IN Y-AS	MOMENT IN XY-VLAK
	KN	KN	KNM
26	0.000	34.000	0.000

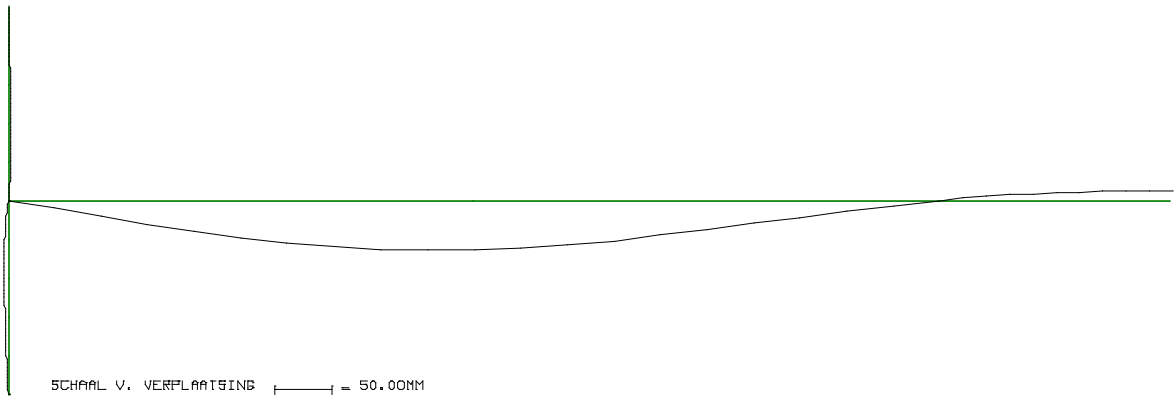


figuur A-2 Aangehouden belastingen

KNOOPVERPLAATSINGEN T.G.V. DE BELASTINGGEVALLEN (VOLGENS HET GLOBALE ASSENSTELSEL)

=====

KNOOP	B.G.	VERPLAATSING	VERPLAATSING	ROTATIE	KNOOP	B.G.	VERPLAATSING	VERPLAATSING	ROTATIE
		IN X-RICHTING	IN Y-RICHTING				IN X-RICHTING	IN Y-RICHTING	
		M	M	RAD			M	M	RAD
6	1	0.000000	0.000000	-0.005057	13	1	0.002385	0.000000	-0.010839
7	1	-0.001472	0.000109	-0.004603	14	1	0.003060	-0.008163	0.000000
8	1	-0.002671	0.000217	-0.003240	22	1	0.002293	-0.000464	0.002224
9	1	-0.003314	0.000322	-0.000813	23	1	0.002386	-0.000458	-0.001043
10	1	-0.002926	0.000384	0.004063	24	1	0.001843	-0.000409	-0.002422
11	1	0.000000	0.000101	0.018968	25	1	0.000994	-0.000355	-0.003152
12	1	0.001437	0.042738	-0.002739	26	1	0.000000	-0.000302	-0.003396

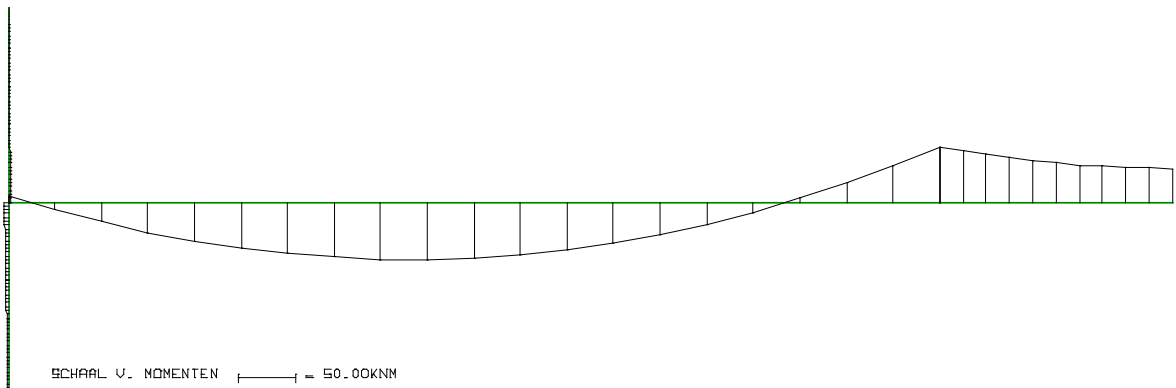


figuur A-3 Vervormingen van het model

KRACHTEN EN MOMENTEN AAN DE STAAFUITEINDEN (VOLGENS HET LOKALE ASSENSTELSEL)

=====

STAAF	B.G.	B-KP	NORMAAL KRACHT KN	DWARS KRACHT KN	MOMENT KNM	E-KP	NORMAAL KRACHT KN	DWARS KRACHT KN	MOMENT KNM
6	1	6	-69.558	-2.326	0.000	7	-69.558	-2.326	-0.698
7	1	7	-69.558	-2.326	-0.698	8	-69.558	-2.326	-1.396
8	1	8	-69.558	-2.326	-1.396	9	-69.558	-2.326	-2.093
9	1	9	-69.558	-2.326	-2.093	10	-69.558	-2.326	-2.791
10	1	10	-69.558	-2.326	-2.791	11	-69.558	-2.326	-3.489
11	1	11	0.000	35.558	-5.358	12	0.000	-5.842	48.131
12	1	12	0.000	-5.842	48.131	13	0.000	-47.242	-47.420
13	1	13	0.000	20.700	-47.420	14	0.000	0.000	-28.790
21	1	11	-34.000	-1.246	1.869	22	-34.000	-1.246	1.495
22	1	22	-34.000	-1.246	1.495	23	-34.000	-1.246	1.121
23	1	23	-34.000	-1.246	1.121	24	-34.000	-1.246	0.747
24	1	24	-34.000	-1.246	0.747	25	-34.000	-1.246	0.374
25	1	25	-34.000	-1.246	0.374	26	-34.000	-1.246	0.000



figuur A-4 Momenten in het model

REACTIEVEKTOREN T.G.V. BELASTINGGEVALLEN (VOLGENS HET GLOBALE ASSENSTELSEL)

=====

KPNO	B.G.	KRACHT IN X-AS KN	KRACHT IN Y-AS KN	MOMENT IN XY-VLAK KNM
6	1	2.326	-69.558	0.000
11	1	-1.080	0.000	0.000
13	1	0.000	-67.942	0.000
14	1	0.000	0.000	28.790
26	1	-1.246	0.000	0.000

TOTALE EVENWICHT VAN DE CONSTRUCTIE PER BELASTINGSGEVAL

=====

B.G.		KRACHT IN X-AS KN	KRACHT IN Y-AS KN OM DE OORSPRONG	MOMENT IN XY-VLAK KNM
1	ACTIE	0.000	137.500	465.750
	REACTIE	0.000	-137.500	-465.750